

IL TAGLIO LASER CON SISTEMI AD ASSI RIDONDANTI

LE APPLICAZIONI DI TAGLIO CHE DEVONO CONIUGARE ALTISSIMA VELOCITÀ E ALTISSIME PRECISIONI DOVRANNO IN FUTURO SEMPRE PIÙ SPESSO ESSERE IMPLEMENTATE TRAMITE CINEMATICHE RIDONDANTI CHE PRESENTANO DIVERSI VANTAGGI RISPETTO ALLE STRUTTURE CARTESIANE.

Il taglio laser ad alta velocità è sempre stato un grande obiettivo dei costruttori sin dal 1979, dopo l'introduzione del primo sistema laser industriale, che aveva un raggio laser fisso montato su una torretta porta-utensile e utilizzava un sistema di movimentazione delle lamiere da tranciare e rifilare. Naturalmente all'epoca eseguire una punzonatura o tranciatura convenzionale era molto più produttivo che movimentare la lamiera medesima intorno a una testa laser. Le potenze laser utilizzate erano limitate a circa 500 Watt. Il primo sistema ottico mobile apparve nel 1979, e da quel momento si aprì la corsa alla velocizzazione del processo. La produttività dei sistemi di taglio laser è andata progressivamente aumentando raggiungendo alla fine degli

anni '90 potenze fino a 3 kW e velocità di posizionamento in rapido fino a 2 metri al secondo. A questo punto, il limite fisico delle macchine era stato raggiunto. Non era più possibile movimentare un portale sulle aree di lavoro tipiche del settore della lamiera a velocità superiori senza incorrere in problemi connessi alla massa e dunque all'inerzia della macchina stessa. L'introduzione dei motori lineari consentì poi di aumentare ulteriormente tale limite, fin quasi a raddoppiarlo e consentire per esempio di ottenere fino a 600 fori al minuto per lamiere di piccolo spessore. La produttività dei sistemi laser non era più incrementabile, a meno di raddoppiare il numero (e il costo) delle teste di taglio o senza abbandonare la classica configurazione ad assi cartesiani X ed Y con struttura a portale.

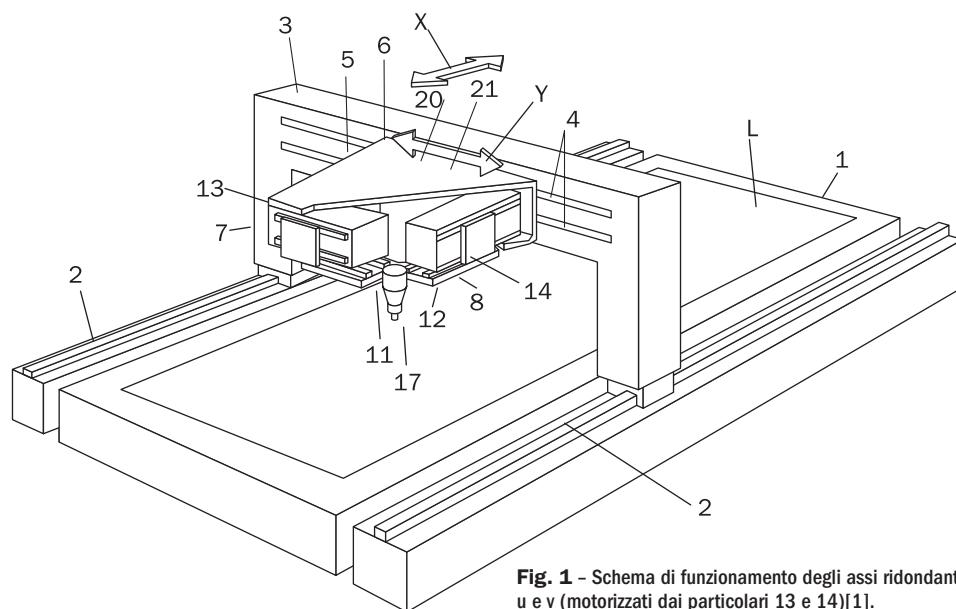


Fig. 1 - Schema di funzionamento degli assi ridondanti u e v (motorizzati dai particolari 13 e 14)[1].

I LIMITI DELLA STRUTTURA CARTESIANA

Si pensi infatti a una classica struttura cartesiana elementare a due gradi di libertà specializzata per taglio laser. Nella meccanica cartesiana lo spostamento lungo l'asse X è generato dal movimento di un portale sul quale è alloggiata la tavola lineare che gestisce il movimento lungo l'asse Y che sostiene la torcia laser. Se occorre eseguire un profilo con rapidi cambi di direzione, per esempio un quadrato, con 4 cambi di direzione a 90°, magari ad alta velocità (p.e. 1 o 2 metri al metro al secondo), qualunque struttura cartesiana dovrebbe arrestarsi sullo spigolo, con decelerazioni e accelerazioni elevatissime (fino a 4, 5 o 6 g) che richiedono struttu-

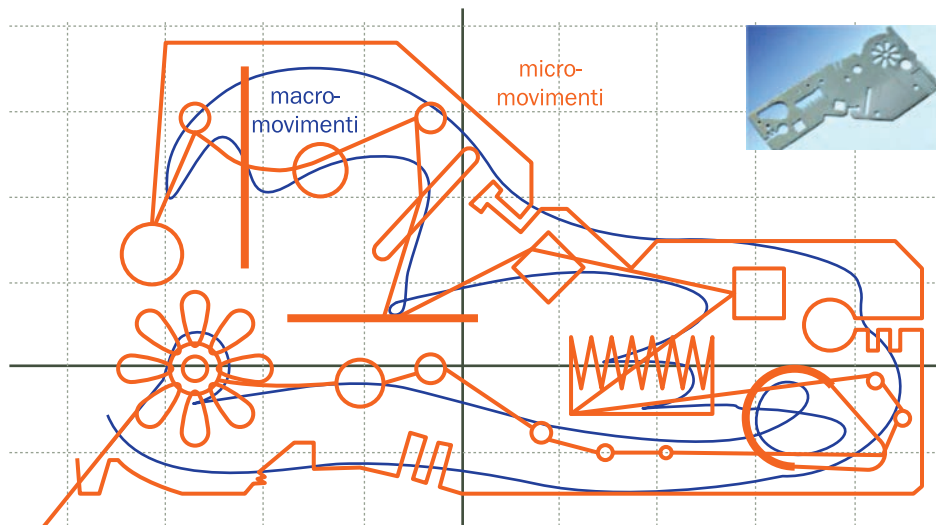


Fig. 2 - Traiettorie eseguite dagli assi primari (macro) e ridondanti (micro) nel sistema Sincrono [2].

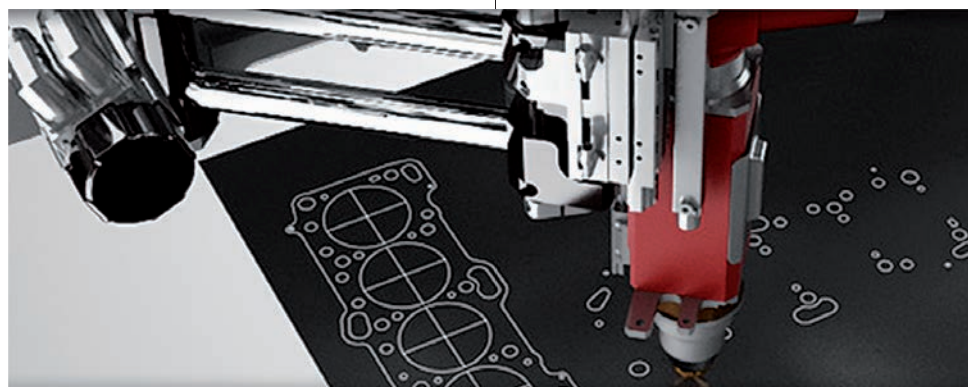
re rigidissime e soprattutto leggere, che altrimenti l'inerzia rischierebbe di distruggere o comunque deformare il portale stesso, penalizzando l'accuratezza del taglio. Similmente, se si volesse realizzare un pattern ripetuto di numerosi dettagli piccoli, per esempio una sequenza di fori, una macchina cartesiana tradizionale deve spostarsi in rapido molte volte e in rapida successione, provocando forti sollecitazioni da accelerazione/decelerazione alla struttura. Per questo motivo nello scorso decennio sono evolute le strutture cinematiche, con delle innovative soluzioni molto spesso inventate e proposte da produttori italiani.

I VANTAGGI DELLA "RIDONDANZA"

Tali soluzioni ricorrono tutte a strutture cosiddette «ad assi ridondanti». A causa delle elevate inerzie le caratteristiche dinamiche di una macchina cartesiana di grandi dimensioni sono essenzialmente limitate: la ridondanza, se opportunamente sfruttata, può risolvere queste problematiche, ridurre i tempi ciclo, migliorare la qualità delle lavorazioni e ridurre i consumi energetici. Per poter controllare strutture ridondanti e gestire al meglio le traiettorie delle parti in movimento, sono necessarie soluzioni sofisticate che richiedono un elevato know-how di controllo, oltre che un'ottima conoscenza delle cinematiche non convenzionali. Una caratteristica delle macchine a cinematica ridondan-

te è che, per andare da un punto A sul piano fino a un qualunque punto B esiste più di una possibilità in termini di interpolazione degli assi. A volte, per alcune configurazioni cinematiche, esistono infinite possibilità. Questa grande potenziale libertà del CN nella definizione delle effettive traiettorie dei singoli assi apre la strada alla possibilità di ottimizzare le traiettorie stesse, per esempio allo scopo di minimizzare l'energia spesa dai motori oppure le coppie dei singoli motori. Per questo motivo le cinematiche ridondanti sono considerate più efficienti energeticamente ed economicamente delle cinematiche cartesiane. Naturalmente l'ottimizzazione delle traiettorie può essere eseguita solo se il CAM implementa opportune logiche e algoritmi di ottimizzazione nella generazione dei moti degli assi.

Fig. 3 - Foto del sistema "compasso" di Salvagnini [3].



ALCUNE SOLUZIONI DI SUCCESSO

Nel sistema "Sincrono", proposto da Prima Industrie, la testa di taglio viene movimentata sul piano da un sistema cartesiano di due assi X ed Y tradizionali, ma la testa è anche equipaggiata con due motori lineari che forniscono due assi ridondanti u ed v di corsa limitata a poche decine di mm ma di bassissima inerzia e altissima velocità. In questo modo i due assi primari conducono il movimento principale della struttura (macro-movimenti), a velocità relativamente bassa sulle distanze più grandi, nell'ordine delle decine e centinaia di mm. I due assi ridondanti invece si occupano di tracciare i dettagli della traiettoria (micro-movimenti), con frequenti cambi di velocità e direzione, su uno spazio di lavoro ridotto sotto i 10 mm. La figura 2 spiega bene come avviene la sincronizzazione della traiettoria complessiva, che risulta dalla combinazione del controllo dei quattro assi. Con questi accorgimenti, grazie alla velocità e leggerezza dei micromotori, la macchina è in grado di eseguire fino a 1000 posizionamenti (p.e. fori) al minuto (accelerazione 6g) e raggiungere velocità oltre i 3 metri al secondo; Nel sistema cosiddetto a "compasso", proposto da Salvagnini, la testa di taglio viene movimentata sul piano da un sistema cartesiano di due assi X ed Y tradizionali, ma la testa è anche equipaggiata da una cinematica parallela locale, provvista di due motori rotativi che forniscono anche in questo caso due assi ridondanti aggiuntivi di corsa massima pari a 170 mm, con inerzie contenute e alte velocità (accelerazione 5g). Tale sistema meccanico garantisce prestazioni dinamiche simili a quelle dei motori lineari.

IL SISTEMA MULTIPOLARE

Un'altra proposta molto promettente viene infine dalla Sinnotech di Lecco, che ha sviluppato e dimostrato un concept di cinematica ridondante anch'essa a 4 gradi di libertà sul piano, ma in questo caso i 4 assi controllabili sono tutti rotazionali. A fronte di una potenziale maggiore complessità nella gestione del controllo numerico, il sistema cosiddetto «multipolare» consente di eseguire traiettorie nel piano anche molto complesse con grande continuità delle velocità (quindi basse accelerazioni e forze d'inerzie), struttura meccanica leggera e compatta (buon rapporto tra dimensione dei cinematismi e area di lavoro utile), semplicità costruttiva e di manutenzione. Un vantaggio importante della cinematica multipolare, priva di assi cartesiani, è che l'esecuzione di spigoli vivi o di repentini cambi di direzione può avvenire senza che il sistema si arresti, quindi senza necessità di forti decelerazioni degli assi. Trattandosi di una cinematica ridondante, è possibile scegliere percorsi dei singoli assi alternativi e differenti per implementare una stessa traiettoria della testa laser. Per esempio in figura 5 si vede come per realizzare una traiettoria quadrata della testa laser, con un tempo prefissato di esecuzione, si possa ricorrere a più di una scelta nell'interpolazione dei singoli assi rotazionali. Il part program mostrato a sinistra è stato programmato con l'obiettivo di minimizzare le accelerazioni, mentre quello di destra tende a minimizzare le velocità dei singoli assi. In entrambi i casi il controllo degli assi raggiun-

Fig. 4 - Disegno del sistema "multipolare" di Sinnotech [4] (si ringrazia Alphaprogetti).

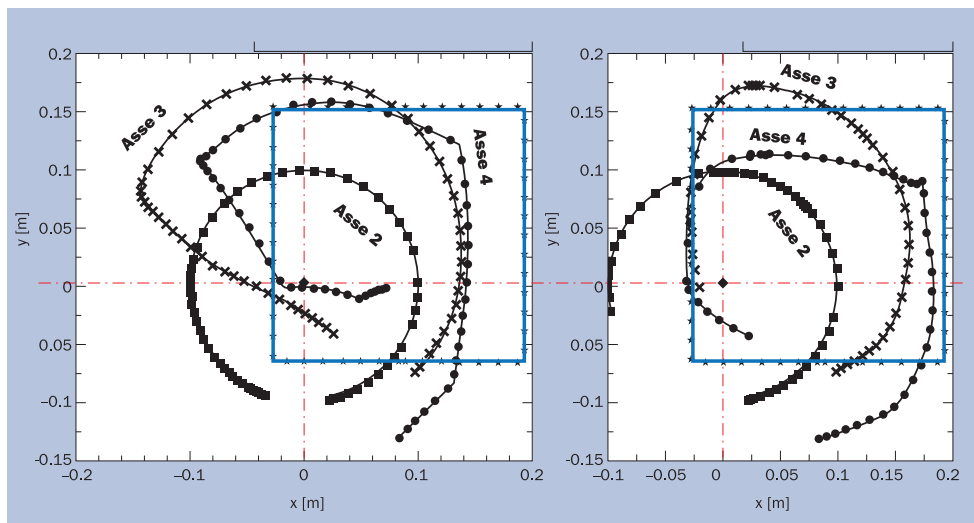
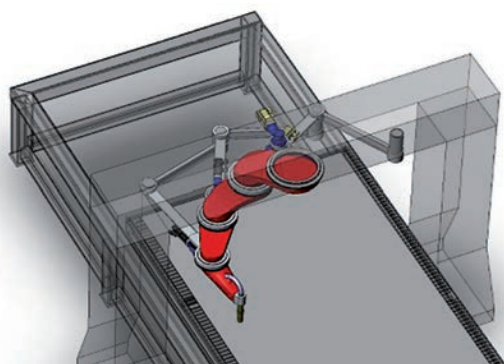


Fig. 5 - Traiettorie alternative dei centri di rotazione dei singoli assi per l'esecuzione di un percorso quadrato della testa [4]; l'asse 1 possiede un moto rotatorio intorno all'origine delle coordinate cartesiane

ge l'obiettivo, sorprendente per certi versi, non solo di avere un tempo di lavorazione fissato, ma anche di mantenere una velocità lineare della torcia costante durante tutto il tragitto (pari a 1.1 m/s). La cinematica multipolare è scalabile e quindi consente lo sviluppo di macchine complesse e coordinate con tantissimi gradi di libertà (ne esistono prototipi fino a 22 gdl). Per contro, la sua semplicità ne fa uno strumento versatile e adatto alle piccole e medie imprese meccaniche. La struttura multipolare è diversa dalle due configurazioni ridondanti sopra elencati in quanto del tutto priva di un portale mobile cartesiano. Il portale cartesiano il portale ha bisogno di due guide rettificata, perfettamente parallele nello spazio. Il portale è mosso da due motori; un master che esegue il movimento programmato, l'altro, slave detto gantry che insegue il movimento del primo. Nel sistema multipolare la traversa (fig.4), se presente, serve solo a reggere il cinematismo, ma non è soggetta a movimento, può essere quindi irrigidita (appesantita) senza vincoli dati dall'inerzia del sistema. La movimentazione dei singoli assi può diversificarsi notevolmente in funzione delle specifiche esigenze. Per esempio, qualora l'area di lavoro complessiva richiesta non sia particolarmente ele-

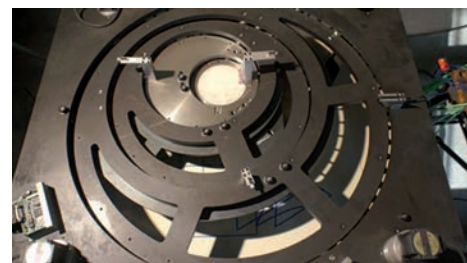


Fig. 6 - Cinematica multipolare a struttura compatta con dischi annidati (si ringrazia Mgs srl).

vata, è possibile implementare soluzioni strutturali molto compatte (fig.6), implementando il cinematismo semplicemente tramite cuscinetti a sfere disposti serialmente uno dentro l'altro. La guida (la gola che alloggia le sfere del cuscinetto), circolare, è unica e quindi non possono esistere intraversamenti, i carichi sono disposti in modo simmetrico, la rigidità e la precisione sono riconducibili a quelle, molto elevate, del cuscinetto a sfere. Al contrario delle prime due soluzioni (Sincrono e Compasso), quest'ultima proposta è ancora allo stato prototipale. ■

Riferimenti bibliografici

Brevetto EP 1758003 B1, Method for controlling systems provided with redundant actuators
 T. Burdel, P. Schwarzenbach, Breaking speed barriers in laser cutting, The FABRICATOR, febbraio 2007
 URL: <http://www.salvagnini.it/salvagnini.php?s=630>
 M Morandini, P Masarati, L Bargigli, L Vaccani, Feedforward Control Design From General-Purpose Multibody Analysis for an Original Parallel Robot Concept, The 2nd Joint International Conference on Multibody System Dynamics, May 29-June 1, 2012, Stuttgart, Germany